

水稻土肥际微域铵对钾形态转化与迁移的影响^①

苏同庆^{1,2}, 王火焰^{1*}, 周健民¹, 陈小琴¹, 杜昌文¹

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 通过室内土柱培养试验, 研究了水稻土肥际微域铵对钾形态转化与迁移的影响。结果表明, 钾自肥际向非肥际的扩散距离随钾肥用量增加而增加, 施同等铵态氮条件下, 施钾量增加 2.4 倍, 导致肥际钾含量最高区域水溶态钾含量提高了 2.1 倍, 交换态钾和非交换态钾则分别提高了 1.7 和 0.3 倍, 而钾的迁移距离提高了 16.4% (12 mm), 说明肥际钾的固定能力有限, 钾肥量增加导致更多的钾以有效性较高的形态存在。同等钾量条件下, 施用铵态氮肥显著提高了水稻土肥际钾含量最高区域水溶态钾含量, 使钾的迁移距离较未施铵时增加了 23.2% (16 mm); 铵钾共施还显著提高了肥际到普通土壤过渡区域中交换态钾含量, 降低了所有土样中的非交换态钾含量。铵钾共施显著抑制了肥际微域中肥料钾向非交换态的转化, 这种抑制作用随距肥际距离的增加而减弱。利用不同回归方程拟合由肥际到非肥际钾的分布曲线, 无论是水溶态钾还是交换态钾, 反 S 型曲线 $y = a / [1 + b \exp(c \times x)]$ 可以很好地拟合由肥际到非肥际 K^+ 的分布。

关键词: 铵; 钾; 水稻土; 肥际; 转化; 迁移

中图分类号: S153.3

农业生产中, 施用复合肥或者同时施用多种肥料的现象普遍存在。不同肥料组分在土壤中的转化和迁移往往存在一定程度的相互作用, 其中铵钾的相互作用尤为引人关注。铵钾离子具有非常相近的离子半径和水化能, 易被表面带负电荷的土壤胶体吸附, 也都容易被黏土矿物层间固定^[1-2]。铵对土壤中钾的转化有着显著的影响。多数研究结果表明, 铵钾同时施用降低了土壤对钾的固定^[3-6]。但也有研究指出, 铵钾同时施用时钾的固定量没有因同时施用铵而减少^[7]。甚至铵的施用促进了钾的固定, 增加了钾的固定量^[8]。铵在影响钾固定的同时, 也对土壤中的水溶态钾和交换态钾产生一定的影响^[9]。最新的研究表明, 未施钾肥的情况下, 铵通过交换作用可以显著提高土壤中水溶态钾的含量, 并导致交换态钾相应地下降, 而且铵态氮显著抑制固钾能力较强的土壤中非交换态钾的释放; 铵态氮肥与钾肥共施的条件下, 铵则显著抑制了外源钾向非交换态钾的转化, 并因为这种作用而导致水溶态钾和交换态钾均上升^[10]。因而铵对钾形态转化的影响主要涉及交换性位点的代换作用和非交换性位点的阻断作用两个方面。关于铵钾在土壤迁移过程中

的交互作用报道较少, 有研究表明, 施用尿素促进了红壤中钾的流失^[11]。20世纪 90 年代末, 鲁如坤先生^[12]提出肥际微域的概念, 认为肥料施入土壤后会在肥料附近形成性质和整个土体巨大不同的特殊环境。肥际微域的研究也逐渐成为土壤肥料研究的热点。杜振宇等^[13]的研究表明, 铵钾肥共施显著提高了肥际微域中的水溶态钾含量, 减少了土壤晶格对钾的固定, 但铵对钾在红壤和潮土中的迁移距离影响不大。

本研究以一种铵钾固定能力较强的水稻土为材料, 采用室内土柱培养、切片的方法, 研究水稻土肥际微域铵对钾迁移和形态转化的影响, 以期了解铵钾在土壤中的交互作用效应和机理, 为氮钾肥的合理配施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤为水稻土, 采自湖北潜江浩口镇 (0~20 cm), 基本理化性状如表 1 所示。土壤风干磨细过 20 目筛备用。供试肥料为分析纯 KCl 和 NH₄Cl, 磨细备用。

^①基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目 (2007CB109301)、国家自然科学基金项目 (40971176) 和 IPI 项目资助。

* 通讯作者 (hywang@issas.ac.cn)

作者简介: 苏同庆 (1982—), 男, 河北廊坊人, 硕士研究生, 主要从事土壤、作物营养与施肥, 多元养分交互作用的研究。E-mail: tqsu@issas.ac.cn

表 1 供试土壤的基本理化性状

Table 1 Basic properties of the soil used

质地	pH (H ₂ O, 1:2.5)	阳离子交换量 (cmol/kg)	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	全 K (g/kg)	碳酸钙 (g/kg)	速效 K (mg/kg)
砂粉土	8.05	14.71	21.6	1.51	17.48	27.1	68.97

1.2 试验设计与培养方法

采用室内土柱培养, 所用容器为内圆外方的蜡筒, 高 160 mm, 内径 50 mm。蜡筒底端用滤纸封口, 均匀装土 400 g, 装土后土柱体积质量为 1.23 g/cm³。将装好的土柱垂直放置在装有去离子水的石英砂盘上, 通过毛细作用使土柱吸水 12 h 至饱和。将吸水后的土柱移至干石英砂盘上去除重力水 (12 h), 用 PE 保鲜膜将整个蜡筒密封以防止水分散失, 垂直放置, 平衡 48 h, 此时土柱含水量为饱和田间持水量。试验设不施肥对照 (CK)、单施铵态氮肥 (N)、低量钾与铵态氮肥共施 (NK₁)、单施高量钾肥 (K₂) 和高量钾与铵态氮肥共施 (NK₂), 共 5 个处理, 每个处理重复 3 次。NH₄Cl 施用量为 (以纯 N 计) 0.3 g/kg 土, 低钾 (K₁) 施用 KCl (以 K₂O 计) 0.3 g/kg 土, 高钾 (K₂) 1.0 g/kg 土。所有肥料磨细, 准确称量后, 均匀撒在一塑料板上 (土柱等直径的圆内), 再将水分已平衡好的土柱移至塑料板上, 使肥料和土柱底端土壤紧密结合, 再密封置于 25°C 恒温培养箱内培养 15 天, 然后用自制的切片机每 2 mm 切片取样, 经风干磨细后用于测定。

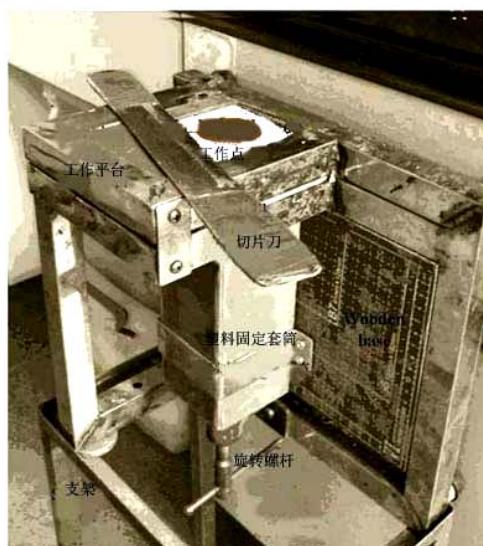


图 1 切片取样装置

Fig. 1 Sectioning apparatus

1.3 样品测定与数据分析

不同形态的钾提取过程如下: 称取 1.00 g 土样于

50 ml 离心管中, 加入 10 ml 去离子水, 于往返振荡机上振荡 30 min, 离心得上清液用于水溶态钾的测定; 离心管中残渣继续加入 10 ml 的 1 mol/L 的醋酸铵溶液振荡提取 30 min, 离心取上清液用于交换态钾的测定; 土壤残渣转移到高型烧杯中, 用 1 mol/L 沸硝酸提取非交换态钾。各提取液中钾浓度均用 HG-5 型火焰光度计 (北京医用仪器有限公司) 测定^[14]。

数据分析采用 Excel 2003 和 SPSS 13.0。计算土柱中钾的增加量时, 未测定土样的钾浓度取其相邻两片浓度的平均值。施入的钾肥有一部分会转变为常规沸硝酸方法不能提取的形态, 这部分钾被称为强固定态钾^[15], 其计算公式为: 强固定态钾 = 施钾量 - (水溶态钾 + 交换态钾 + 沸硝酸提取非交换态钾)。

2 结果与分析

2.1 施钾量对水稻土肥际钾形态转化和迁移的影响

随施钾量改变, 水溶态钾的分布发生了相应的变化。施肥点附近, 即肥际微域中水溶态钾含量因施用钾肥而大幅度上升, 与对照相比 (11.9 mg/kg), NK₁ 和 NK₂ 处理第一片土样 (0 ~ 2 mm) 中水溶态钾含量分别达到了 540 和 1 670 mg/kg (图 2a)。随施钾量增加到 3.4 倍, 肥际钾含量最高区域水溶态钾含量也提高到了 3.1 倍。随着距施肥点距离的增加, 土壤水溶态钾含量逐渐减少, 直至与对照持平 (图 2a)。

由肥际到非肥际钾的迁移距离也受施钾量的影响, NK₁ 处理水溶态钾迁移距离为 73 mm, NK₂ 处理水溶态钾迁移距离显著增加到 85 mm, 比 NK₁ 处理钾的扩散距离提高了 16.4% (12 mm), 表明增加钾肥用量, 既提高了水稻土肥际微域水溶态钾含量, 又增加了水溶态钾的迁移距离。

随着水溶态钾由肥际到非肥际的扩散迁移, 土壤交换态钾也发生相应的变化。施钾处理肥际交换态钾含量较对照显著上升 (图 2b), NK₁ 和 NK₂ 处理 0 ~ 2 mm 土样中交换态钾含量分别达到了 420 和 1 128 mg/kg, 施钾量增加到 3.4 倍, 导致肥际钾含量最高区域交换态钾含量提高到了 2.7 倍, 低于图 2a 中水溶态钾的增加幅度。随距施肥点距离的增加, 土壤中交换态钾含量逐渐减少, 直至与对照持平 (图 2b)。由肥

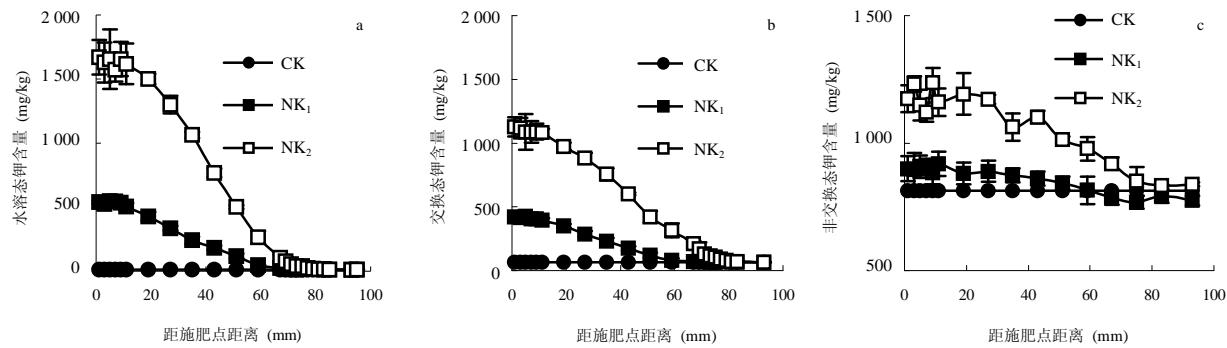


图2 钾肥施用量对水稻土肥际微域钾迁移的影响 (a. 水溶态钾; b. 交换态钾; c. 非交换态钾)

Fig. 2 Effect of K dose on K movement from ferti-sphere to bulk paddy soil

际到非肥际土壤交换态钾发生变化的范围也因施钾量而不同, NK₁ 处理交换态钾受影响的距离为 71 mm, NK₂ 处理交换态钾的影响距离则为 83 mm, 较 NK₁ 处理增加了 16.9% (图 2b)。

由肥际到非肥际, 随水溶态钾的迁移和交换态钾的变化, 非交换态钾也发生相应变化。由图 2c 可知, 施肥点附近, 即肥际微域中非交换态钾含量因施用钾肥相应有所上升。NK₁ 和 NK₂ 处理第一片土样 (0~2 mm) 中非交换态钾含量分别达到了 899 和 1 175 mg/kg, 较不施钾 CK 处理 (814 mg/kg) 分别增加了 10% 和 44%。NK₂ 与 NK₁ 相比, 其施钾量增加了 2.4 倍, 但肥际钾含量最高区域非交换态钾含量仅提高了 30%, 显然施钾后肥际微域中非交换态钾的增加幅度远不及水溶态和交换态钾。随着距施肥点距离的增加, 土壤非交换态钾含量逐渐减少 (图 2c)。非交换态钾受影响的距离范围也因施钾量而不同。NK₂ 处理影响距离为 75 mm, 较 NK₁ 处理 (67 mm) 显著增加了 8 mm。

2.2 施用铵态氮肥对水稻土肥际钾形态转化和迁移的影响

不施钾肥条件下, 施用 NH₄Cl 对土壤中原有钾形态转化有显著影响。单施 NH₄Cl 条件下, 施肥点附近, 即肥际微域中水溶态钾含量大幅度上升。与对照相比 (11.9 mg/kg), N 处理第一片土样 (0~2 mm) 中水溶态钾含量达到了 25.7 mg/kg, 高达对照处理的 2.16 倍 (图 3a)。由肥际到非肥际, 肥料铵对土壤水溶态钾的促进作用随距施肥点距离的增加而逐渐减弱, 到 69 mm 处消失。水溶态钾上升的同时, 施铵导致肥际微域交换态钾含量显著下降。不施肥 CK 处理的交换态钾含量为 66.3 mg/kg, 施铵肥际第一片土样 (0~2 mm) 中下降到 35.2 mg/kg, 降幅为 47%。随距施肥点距离的增加, 铵对土壤交换态钾的抑制作用减弱, 到 69 mm 消失 (图 3b)。在水溶态钾和交换态钾变化同时, 施铵对不施钾土壤肥际非交换态钾的影响相对较小 (图 3c), 表现为肥际非交换态钾因施铵略有下降。不施钾单施铵导致肥际水溶态钾上升, 交换态钾下降, 以及

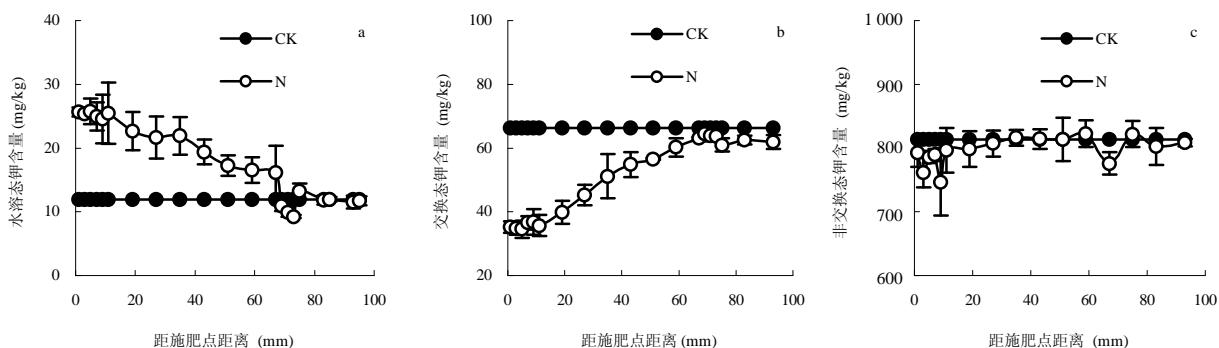


图3 铵对水稻土肥际微域原有钾形态转化的影响 (a. 水溶态钾; b. 交换态钾; c. 非交换态钾)

Fig. 3 Effect of NH₄⁺ application on original K transformation from ferti-sphere to bulk paddy soil

非交换态钾略有下降的结果与普通土体中的研究结果较为一致^[10]。

施用钾肥条件下, 受施钾影响的区域中水溶态、交换态和非交换态钾都显著上升, 施用 NH_4Cl 对土壤中施入钾形态转化有很大影响(图 4)。单施钾的 K_2 处理第一片土样(0~2 mm)水溶态钾含量达到了 1276 mg/kg, 与铵共施的 NK_2 处理水溶态钾含量则显著上升

到了 1670 mg/kg, 较未施铵时增加了 30.9%。随距肥际距离的增加, 尽管两处理中的水溶态钾都呈下降趋势, 但施铵处理(NK_2)土壤中的水溶态钾含量都显著高于等距离未施铵处理(K_2)土壤(图 4a)。铵钾共施显著提高了所有土样中的水溶态钾含量, 也促进了水溶态钾的迁移, NK_2 处理钾的迁移距离达 85 mm, 较 K_2 处理(69 mm)增加了 23.2% (图 4a)。

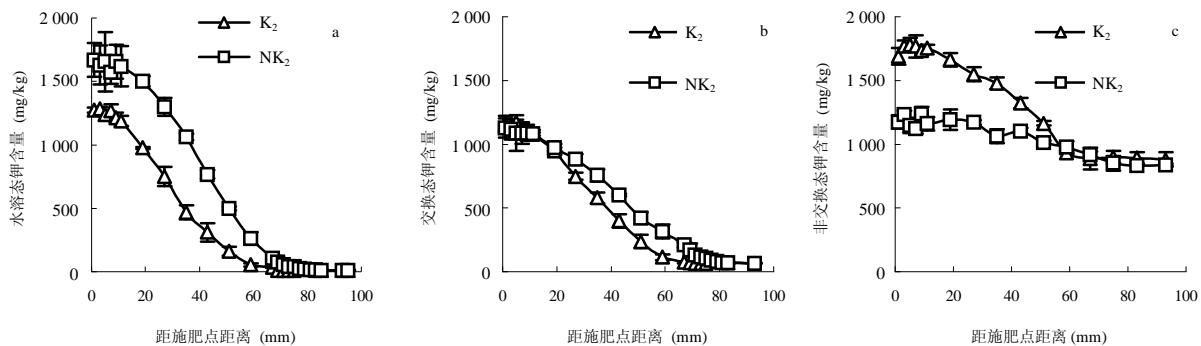


图 4 铵对水稻土肥际微域施入钾迁移的影响 (a. 水溶态钾; b. 交换态钾; c. 非交换态钾)

Fig. 4 Effect of NH_4^+ co-application on movement of added K from ferti-sphere to bulk paddy soil

施钾后, 肥际到非肥际区域土壤的交换态钾含量较未施钾时大幅度上升(图 4b、3b)。铵对交换态钾的影响效应与不施钾时明显不同, 未施钾时施铵显著降低了肥际的交换态钾含量(图 3b), 而施钾时 K_2 和 NK_2 处理第一片土样(0~2 mm)中交换态钾含量分别为 1160 和 1128 mg/kg, 没有显著差异(图 4b)。距施肥点 0~12 mm 范围内, K_2 和 NK_2 处理土样中的交换态钾含量也无显著差异, 而且不同距离土样中的交换态钾变化幅度也很小(图 4b)。距施肥点距离超过 12 mm 的区域, 施铵处理较未施铵处理显著提高了交换态钾含量(图 4b)。由肥际到非肥际土壤交换态钾发生变化的范围也因是否施铵而不同, K_2 处理对交换态钾的影响距离为 69 mm, NK_2 处理则达到 83 mm, 提高了 20.3% (图 4b)。

施钾后, 肥际到非肥际区域土壤的非交换态钾含量较未施钾时也有所上升(图 4c, 3c), 与对照(814 mg/kg)相比, K_2 和 NK_2 处理非交换态钾的含量在 0~2 mm 分别达到了 1690 和 1175 mg/kg。施铵处理肥际钾含量最高区域非交换态钾的增量(扣除对照含量)较未施铵时下降了 58.8% (图 4c)。肥际单施钾处理非交换态钾的影响距离为 59 mm, 铵钾共施处理(NK_2)影响距离则显著提高, 达到 75 mm, 提高了 16 mm。

2.3 施用铵态氮肥对水稻土肥际不同形态钾增加量的影响

施入的钾肥经肥际到非肥际的迁移和转化后, 导致整个土体中各形态钾的总量有所增加。施入的钾肥除转化为水溶态、交换态和常规沸硝酸法提取的非交换态外, 还有一部分钾转化成为沸硝酸不能提取的形态, 但这部分钾仍然是非交换态, 为与常规非交换态钾进行区分, 将其称为强固定态钾^[15]。图 5 中, NK_2 与 NK_1 处理相比, 钾肥用量增加了 2.4 倍, 整个土体中水溶态和交换态钾相应都增加了 2.6 倍, 非交换态钾也增加了 2.1 倍, 强固定态钾只增加了 23%。而施钾量增加导致肥际钾含量最高区域(0~2 mm)水溶态、交换态钾和非交换态钾分别提高了 2.1、1.7 和 0.3 倍(图 2), 其增加幅度小于整个土体中的平均幅度。

施用铵态氮肥既影响施入钾在肥际的迁移、转化, 又改变整个土体不同形态钾的增加量。与 K_2 相比, NK_2 处理整个土体水溶态钾和交换态钾分别增加了 70.3% 和 19.0%, 而非交换态钾和强固定态钾则分别显著下降了 48.7% 和 80.0% (图 5), 可见铵态氮肥与钾肥共施可显著降低钾在土壤中的固定, 增加了土壤中钾的有效性。而铵钾共施导致肥际钾含量最高区域(0~2 mm)水溶态钾仅提高了 30%, 交换态钾变化不大, 非

交换态钾增量下降了 58.8%，铵钾共施提高肥际钾有效性的幅度低于整个土体中的平均幅度。

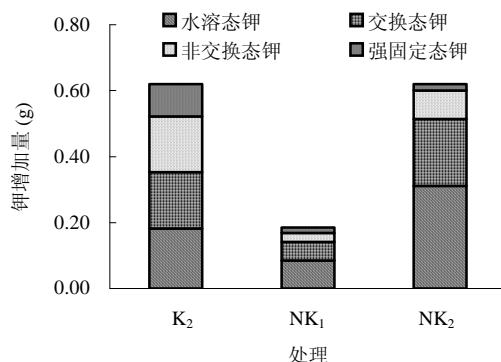


图 5 土柱中施入的钾肥向不同形态钾的转化

Fig. 5 Transformation of added K into different K forms in columns of paddy soil

2.4 水稻土肥际到非肥际水溶态钾、交换态钾的分布模型

养分由肥际到非肥际的分布变化，近年来已有一些研究，基本都表现为随距肥际距离的增加而快速下降的趋势^[13,16-19]。肥际到非肥际不同养分的分布情况，能否用一些方程进行拟合，这方面报道较少。本文采用直线、二次曲线、三次曲线和反 S 型曲线 4 种方程对钾肥施用后水稻土肥际到非肥际水溶态钾和交换态

钾的分布情况进行了拟合。表 2 列出了表征方程拟合度的决定系数 R^2 、预测值和实测值之间的标准误 SE 以及方程的常数项，各方程常数项表示的是用该方程预测肥际养分浓度最高点，即距离 $x=0$ 处的水溶态钾和交换态钾浓度。各方程拟合的 R^2 均在 0.961 ~ 0.999 之间，均达到极显著水平。无论是水溶态钾还是交换态钾，直线方程的 R^2 在所有方程中是最低的（表 2），且对于肥际微域高浓度水平区域和接近对照的低浓度平缓区域偏差很大，总体上 SE 也是几个方程中最高的（表 2），因此简单的线性模型是不适合的。二次曲线方程在高浓度平台区和低浓度平缓区域比直线方程好一些，但差距仍较大。三次曲线方程和反 S 型曲线较二次方程的 R^2 都进一步提高，SE 都较小，都表现为高度的拟合。但进一步比较发现，反 S 型曲线对水溶态钾的拟合情况更优于三次曲线，表现为对曲线末端低浓度区域的拟合三次曲线要稍差。用反 S 型曲线描述养分在肥际-非肥际区域中的分布，可以准确地拟合肥际微域初始高浓度区域的缓慢下降、中间区域的快速下降以及曲线末端低浓度区域的平缓下降过程。无论是水溶态钾还是交换态钾，反 S 型曲线 $y=a/[1+b \exp(c \times x)]$ 的 R^2 很大，SE 很小（表 2），是拟合固钾能力较强水稻土中钾由肥际向非肥际扩散分布理想的方程。

表 2 不同模型拟合钾肥施用后水稻土肥际到非肥际水溶态钾和交换态钾的分布效果比较 (y : 钾含量 (mg/kg); x : 距肥际距离 (mm))

Table 2 Comparison the change of K concentration from ferti-sphere to bulk paddy soil with different models

钾形态	处理	直线模型			二次曲线模型			三次曲线模型			反 S 曲线模型		
		$y=ax+b$			$y=ax^2+bx+c$			$y=ax^3+bx^2+cx+d$			$y=a/[1+b \exp(cx)]$		
		b	R^2	SE	c	R^2	SE	d	R^2	SE	a	R^2	SE
水溶态钾	K ₂	1 325	0.970	99.5	1 427	0.987	68.5	1 319	0.998	30.9	1 389	0.999	19.1
	NK ₁	561	0.971	40.5	603	0.987	27.8	564	0.996	15.2	603	0.997	13.0
	NK ₂	1 746	0.961	145	1 865	0.974	122	1 662	0.997	41.6	1 686	0.999	25.9
交换态钾	K ₂	1 221	0.984	62.6	1 267	0.988	54.8	1 173	0.999	12.9	1275	0.999	15.3
	NK ₁	438	0.980	22.4	457	0.988	18.3	426	0.999	5.1	530	0.995	11.0
	NK ₂	1 166	0.965	84.8	1 237	0.978	68.6	1 126	0.999	17.7	1 183	0.999	17.0

注：各方程第一列为常数项 (b、c、d、a)，代表距肥际距离 $x=0$ ，即施肥点钾的含量。

3 讨论与结论

施钾量对水稻土肥际钾的形态转化和迁移有很大影响。钾肥用量显著影响肥际到非肥际土壤中水溶态、交换态和非交换态钾的含量，无论是肥际浓度的变化幅度还是肥际到非肥际受影响的距离范围，都表现为水溶态钾 > 交换态钾 > 非交换态钾。这与钾肥施入土

壤后由水溶态转化到交换态再转化到非交换态的顺序，以及土壤中水溶态、交换态和非交换态钾本底含量依次上升的顺序密切相关。肥际土壤对钾的固定能力有限，钾肥量增加导致更多的钾以有效性较高的形态存在。钾浓度上升促进了钾的移动，是肥际钾扩散的主要驱动力。

不施钾单施铵条件下, 肥际微域中水溶态钾含量大幅度上升, 交换态钾含量显著下降。随距施肥点距离的增加, 铵对土壤水溶态钾的活化作用和对交换态钾的抑制作用减弱。施铵对不施钾土壤肥际非交换态钾的影响相对较小, 表现肥际非交换态钾因施铵略有下降, 这主要与铵存在的条件下抑制了沸硝酸提取过程中钾的释放有关。

施用铵态氮肥对水稻土肥际钾的形态转化和迁移也有较大影响。铵钾共施较单独施钾显著提高了水稻土肥际钾含量最高区域水溶态钾含量和肥际到普通土壤过渡区域中交换态钾含量, 降低了所有土样中的非交换态钾含量。钾自肥际向非肥际的扩散距离也因施铵而增加。铵对不同形态钾的影响表现为肥际区域抑制非交换态钾形成的作用最为显著, 提高水溶态和交换态钾的作用则在距肥际稍远的区域更为显著, 这与铵抑制土壤对钾的固定并显著促进钾由肥际向非肥际的扩散作用密切相关。也有研究报道, 在红壤和潮土中铵钾共施提高了水溶态钾的含量, 降低了交换态钾的含量, 但并未促进钾的迁移^[13]。该研究^[13]中土壤切片为 5 mm 间距, 其扩散距离的误差较本研究 2 mm 切片时要大得多。另外, 与本文采用的水稻土相比, 红壤和潮土的阳离子交换量较小、铵钾的固定能力要弱很多, 因而铵对钾的影响也相对较小。

利用不同模型拟合由肥际到非肥际钾的分布情况, 无论是水溶态钾还是交换态钾, 反 S 型曲线 $y = a/[1+b \exp(c \times x)]$ 均可以很好地拟合其分布。

参考文献:

- [1] Chappell MA, Evangelou VP. Influence of added K^+ on inducing ammonium fixation and inhabiting nitrification. *Soil Sci.*, 2000, 165(5): 420–426
- [2] Welch LF, Scott AD. Availability of nonexchangeable soil potassium to plants as affected by added potassium and ammonium. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1961, 25(2): 102–104
- [3] 范钦桢. 铵对土壤钾素释放、固定影响的研究. *土壤学报*, 1993, 30(3): 245–252
- [4] Nielsen JD. Fixation and release of potassium and ammonium ions in Danish soils. *Plant and Soil*, 1972, 36(1): 71–88
- [5] Acquaye DK, Maclean AJ. Influence of form and mode of nitrogen fertilizer application on the availability of soil and fertilizer potassium. *Can. J. Soil. Sci.*, 1966, 46(1): 23–28
- [6] Raju GSN, Mukhopadhyay AK. Effect of the sequence of addition of potassium and ammonium and preadsorbed cations on fixation of applied ammonium ions in soils. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 1975, 23(2): 172–176
- [7] 邹长明, 谢萍若. NH_4^+ 、 K^+ 在土壤中的固定率及相互竞争能力. *土壤通报*, 1993, 24(4): 158–160
- [8] Singh B, Singh AP. Fixation of potassium in soils as affected by an ammoniacal fertilizer. *J. Indian Soc. Sci.*, 1979, 27(3): 272–276
- [9] Lumbanraja J, Evangelou VP. Binary and ternary exchange behavior of potassium and ammonium on Kentucky sub-soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1990, 54 (3): 698–705
- [10] Wang HY, Zhou JM, Du CW, Chen XQ. Potassium fractions in soils as affected by monocalcium phosphate, ammonium sulfate, and potassium chloride application. *Pedosphere*, 2010, 20(3): 368–377
- [11] 马茂桐. 钾氮配施对土壤氮钾渗漏损失的影响. *土壤*, 1999, 31(3): 136–168
- [12] 鲁如坤. “微域土壤学”——一个可能的土壤学的新分支. *土壤学报*, 1999, 36(2): 287–288
- [13] 杜振宇, 周健民, 王火焰, 杜昌文, 陈小琴. NH_4^+ 对 K^+ 在土壤肥际微域中迁移和转化的影响. *土壤学报*, 2007, 44(3): 492–498
- [14] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [15] 周健民, 王火焰. 土壤钾的形态与转化//周健民, Magen H主编. 土壤钾素动态与钾肥管理. 南京: 河海大学出版社, 2008
- [16] Du ZY, Zhou JM, Wang HY, Du CW, Chen XQ. Potassium movement and transformation in an acid soil as affected by phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2006, 70(6): 2057–2064
- [17] 金亮, 周健民, 王火焰, 陈小琴, 杜昌文. 磷酸氢二铵在酸性土壤中的转化与垂直扩散. *生态与农村环境学报*. 2008, 24(3): 45–50
- [18] 金亮, 周健民, 王火焰, 陈小琴, 杜昌文. 石灰性土壤肥际磷酸二铵的转化与肥料磷的迁移. *磷肥与复肥*, 2008, 23(5): 14–18
- [19] 杜振宇, 周健民. 钾在红壤肥际微域中的迁移. *土壤学报*, 2005, 42 (6): 1035–1039

Transformation and Movement of Potassium in Ferti-sphere of Paddy Soil as Affected by Co-application of Ammonium

SU Tong-qing^{1,2}, WANG Huo-yan¹, ZHOU Jian-min¹, CHEN Xiao-qin¹, DU Chang-wen¹

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: A soil column incubation experiment was conducted in this study to investigate the effect of NH_4^+ on transformation and movement of K^+ in ferti-sphere of paddy soil. The results showed that movement of K^+ increased with K dose. In presence of same amount of NH_4^+ , as K dose increased by 2.4 times, the water-extractable K (WE-K), Exchangeable K (E-K) and non-exchangeable K (NE-K) in the nearest part of ferti-sphere significantly increased by 2.1, 1.7 and 0.3 times, respectively. While the K diffusion distance increased by 16.4% (12 mm) as K dose increased. The results indicated that fixation of K in ferti-sphere is somewhat limited; more portion of K remained in labile form as K dose increased. Co-application of NH_4^+ and K significantly increased both WE-K in the nearest part of ferti-sphere and the K diffusion distance as compared with K solely applied treatment. Co-application of NH_4^+ significantly increased E-K in the transition area from ferti-sphere to bulk soil and reduced NE-K in all the soil samples that NH_4^+ possibly reached. Co-application of NH_4^+ significantly restrained transformation of added K into NE-K in ferti-sphere, and the effect declined as the distance from ferti-sphere increased. Different models were compared to describe the change of K concentration from ferti-sphere to bulk soil, for both WE-K and E-K, the anti-S-shape curve $y = a / [1 + b \exp(c \times x)]$ can be well fitted.

Key words: Ammonium, Potassium, Paddy soil, Ferti-sphere, Transformation, Movement